

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-270525
 (43)Date of publication of application : 20.09.2002

(51)Int.Cl. H01L 21/205
 C30B 29/16
 C30B 29/38
 H01L 21/28
 H01L 33/00

(21)Application number : 2001-071746

(71)Applicant : YOSHIKAWA AKIHIKO
 FUTABA CORP

(22)Date of filing : 14.03.2001

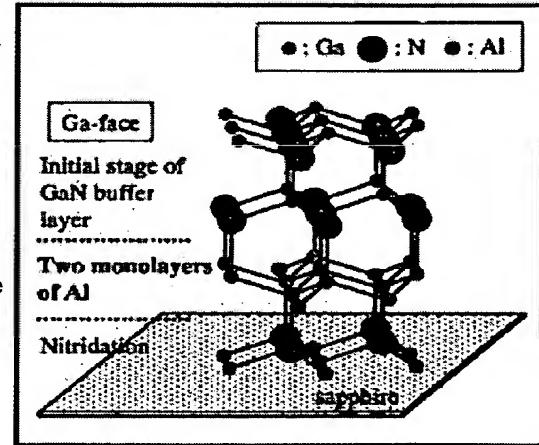
(72)Inventor : YOSHIKAWA AKIHIKO
 ITO SHIGEO

(54) METHOD FOR FORMING SEMICONDUCTOR THIN FILM, SUBSTRATE THEREWITH MANUFACTURED BY THE SAME, AND SEMICONDUCTOR DEVICE BY USING SUBSTRATE THEREWITH

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for improving the characteristics of a device where the surface largely affects electrical and optical characteristics by changing polarity on the surface of a 3-5 or 2-6 group semiconductor such as GaN and ZnO from a conventional anion surface to a more smooth and inactive cation surface.

SOLUTION: A film in the thickness of about several monolayers of metal such as Al is formed inside a 3-5 group or 2-6 group semiconductor film which is epitaxially grown on a sapphire substrate. The polarity on the surface of semiconductor is changed from negative (anion) to positive (cation) at the upper and lower parts of the film. The positive polarity is formed in the epitaxial growth thin film and a polycrystalline thin film of preferred orientation property.



* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]A formation method of semiconductor membrane having at least the structure of polycrystal in which said some of semiconductor membrane carried out priority orientation to a single crystal or said substrate including aluminum of a number monolayer in these some semiconductor membrane in forming semiconductor membrane which grew epitaxially on a substrate.

[Claim 2]In forming semiconductor membrane which grew epitaxially on a substrate, at least a metallic element which has a face-centered-cubic crystal structure like aluminum to these some semiconductor membrane A number monolayer implication, A formation method of semiconductor membrane, wherein said some of semiconductor membrane has the structure of polycrystal which carried out priority orientation to a single crystal or said substrate.

[Claim 3]A formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, wherein said semiconductor membrane comprises a compound (2-6 fellows compound) of two group elements, such as a nitride (3 fellows nitride) of three group elements, such as B, aluminum, Ga, and In, or Zn, Cd, and Mg, and six group elements, such as O, S, and Se.

[Claim 4]Said semiconductor membrane contains a number monolayer of said metallic element, or a number monolayer of said aluminum in an inside, and it by the upper and lower sides of a number monolayer of said metallic element, or a number monolayer of said aluminum. polarity on the surface of semiconductor membrane -- from [negative (anion)] -- right (cation) -- a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, wherein it changes and the straight polarity is maintained to said epitaxial growth thin film surface.

[Claim 5]A formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2 constituting said substrate from silicon on sapphire, making an epitaxial growth face of this silicon on sapphire into C side, and growing said semiconductor membrane epitaxially into a perpendicular direction of this C side.

[Claim 6]A formation method of the semiconductor membrane according to claim 5 as for which having N-ized said substrate face and N termination carrying out it by making the surface carry out the flow of the ammonia gas after exposing said epitaxial growth face of said substrate to H₂ atmosphere at 1100 ** in front of growth.

[Claim 7]A formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, wherein said semiconductor membrane contains Ga or Zn as the composing element.

[Claim 8]A formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, wherein said semiconductor membrane is GaN or ZnO.

[Claim 9]A formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, wherein said semiconductor membrane is the plural mixed crystal compounds which used GaN or ZnO as a base.

[Claim 10]A formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, wherein said semiconductor membrane is a compound which has polarity -- the crystal structure is in a hexagonal system, and there is like GaN or ZnO.

[Claim 11]A formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, wherein said semiconductor membrane contains aluminum of 2 monolayers, or a metallic element of 2 monolayers.

[Claim 12]A substrate with semiconductor membrane manufactured using a method of Claims 1-11 given in any 1 paragraph.

[Claim 13]A semiconductor device using the substrate with semiconductor membrane according to

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to the semiconductor device using the substrate which has a substrate which has the semiconductor membrane manufactured by the method of forming semiconductor membrane on a substrate, and this method, and its semiconductor membrane.

[0002]

[Description of the Prior Art]Gallium nitride (GaN) is widely studied as a base material of a blue semiconductor light device or a blue semiconductor laser.

[0003]However, since GaN cannot manufacture a single crystal wafer with which luminescence is presented, generally sapphire is used as a substrate material.

[0004]Usually, the buffer layer of GaN is formed on this silicon on sapphire, and the layer of GaN is formed on it. And it turns out that the electric and optical characteristic of this GaN layer is strongly influenced in the initial growing condition on silicon on sapphire.

formation **** of the thin GaN buffer layer with the crystallinity sufficient before forming a buffer layer by carrying out nitriding treatment of the surface of silicon on sapphire which removes a non priority direction growth core -- things are known.

[0005]The grown surface of epitaxially grown GaN, Usually, in the case of Ga polarity (cation) side where Ga element is located in the outermost surface, it is known that the surface morphology (surface shape) in which the very smooth field was formed in and many projections of the pyramid shape of a hexagon were formed in the case of N polarity (anion) side where N element is located in the outermost surface is shown.

[0006]Usually, when growing a GaN film epitaxially with MOVPE method etc. on silicon on sapphire, and not making a sapphire side nitriding, the surface of the growth GaN is smooth, but. In order to improve the crystallinity of a GaN film, when silicon on sapphire is made nitriding, for N polarity, as for N termination, the surface of the growth GaN is carried out, and turns into the anion surface with the facet of a hexagon.

[0007]If GaN, a zinc oxide (ZnO), and the substance that has polarity like a cadmium sulfide (CdS) are deposited on an amorphous board with sputtering, vacuum deposition, etc., Even if it is polycrystal, it is possible to arrange the polar axis (in this case, C axis) of that crystal at right angles to a substrate face, but in many cases, anion comes to the surface. – It becomes a polar thin film and corrosion resistance and surface stability are very insufficient compared with the case of + polarity for which cation comes to the surface.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]The surface of the GaN film produced on the silicon on sapphire [nitriding / silicon on sapphire / as mentioned above, in order to improve crystallinity with the conventional manufacturing method] is the anion surface.

The surface turns into the surface in which many facets were formed and where unevenness is intense.

[0009]For this reason, it makes it very difficult to form the epitaxial film of further others in this surface, or to form electrode wiring. For example, when producing a nano quantum dot, and the electron device and optical device using detailed multilevel interconnection, the surface state becomes a serious obstacle.

[0010]The corrosion resistance of the translucency electrode surface, reflection, a refraction characteristic in the surface, etc. make the characteristic of the electron device and a light-emitting device spoil greatly in ZnO to which epitaxial semiconductor membrane is going to be applied as a translucency electrode, a light emitting device, and a semiconductor for laser.

[0011]Even if it is cases, such as GaN of polycrystal, and ZnO, when are used as a transparent electrode, a fluorescent substance, etc. and the surface turns into an anion side with - polarity, the characteristic of the corrosion resistance to a plasma process etc. and the surface stability in a vacuum device is made to spoil greatly like the case of the above-mentioned single crystal.

[0012]This invention by converting the polarity of 3-5 fellows, such as the above-mentioned GaN and ZnO, or a 2-6 fellows semiconductor surface into the cation surface [that it is more smooth and inertness / from the conventional anion surface], The surface aims at providing the method of aiming at improvement in the characteristic of a device which has big influence in the electric and optical characteristic.

[0013]

[Means for Solving the Problem]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 1, In forming semiconductor membrane which grew epitaxially on a substrate, it is characterized by said some of semiconductor membrane having at least the structure of polycrystal which carried out priority orientation to a single crystal or said substrate including aluminum of a number monolayer in these some semiconductor membrane.

[0014]A formation method of a semiconductor thin layer indicated to Claim 2, In forming semiconductor membrane which grew epitaxially on a substrate, at least a metallic element which has a face-centered-cubic crystal structure like aluminum to these some semiconductor membrane A number monolayer implication, It is characterized by said some of semiconductor membrane having the structure of polycrystal which carried out priority orientation to a single crystal or said substrate.

[0015]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 3, In a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, said semiconductor membrane, It is characterized by comprising a compound (2-6 fellows compound) of two group elements, such as a nitride (3 fellows nitride) of three group elements, such as B, aluminum, Ga, and In, or Zn, Cd, and Mg, and six group elements, such as O, S, and Se.

[0016]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 4, In a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, said semiconductor membrane, A number monolayer of said metallic element or a number monolayer of said aluminum is included in an inside, and by the upper and lower sides of a number monolayer of said metallic element, or a number monolayer of said aluminum. polarity on the surface of semiconductor membrane -- from [negative (anion)] -- right (cation) -- it changes and is characterized by maintaining the straight polarity to said epitaxial growth thin film surface.

[0017]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 5, In a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, said substrate is constituted from silicon on sapphire, an epitaxial growth face of this silicon on sapphire is made into C side, and it is characterized by growing said semiconductor membrane epitaxially into a perpendicular direction of this C side.

[0018]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 6, In a formation method of the semiconductor membrane according to claim 5, after exposing said epitaxial growth face of said substrate to H₂ atmosphere at 1100 ** before growth, it is characterized by having N-ized said substrate face and N termination carrying out it by making the surface carry out the flow of the ammonia gas.

[0019]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 7 is characterized by said semiconductor membrane containing Ga or Zn as the composing element in a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2.

[0020]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 8 is characterized by said semiconductor membrane being GaN or ZnO in a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2.

[0021]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 9 is characterized by said semiconductor membrane being the plural mixed crystal compounds which used GaN or ZnO as a base in a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2.

[0022]In a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2, as for a

formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 10, said semiconductor membrane is characterized by being a compound in which the crystal structure has polarity, such as being in a hexagonal system and being, like GaN or ZnO.

[0023]A formation method of semiconductor membrane indicated to Claim 11 is characterized by said semiconductor membrane containing aluminum of 2 monolayers, or a metallic element of 2 monolayers in a formation method of the semiconductor membrane according to claim 1 or 2.

[0024]A substrate with semiconductor membrane indicated to Claim 12 is characterized by being manufactured using a method of Claims 1–11 given in any 1 paragraph.

[0025]A semiconductor device indicated to Claim 13 is characterized by using the substrate with semiconductor membrane according to claim 11. Here, a semiconductor device means a display device using fluorescent substances, such as EL (electroluminescence devices), VFD (fluorescent display), and FED (field emission type display), a new polycrystalline structure large-scale flat-surface light-emitting display device, a device using a transparent electrode, etc., for example.

[0026]

[Embodiment of the Invention]This invention, Insulating substrate (an insulating monocrystal substrate etc.) Inside 3–5 fellows who contain and also grew epitaxially, or 2–6 fellows semiconductor membrane (compound of two group elements, such as a nitride (3 fellows nitride) of three group elements, such as B, aluminum, Ga, and In, or Zn, Cd, and Mg, and six group elements, such as O, S, and Se (2–6 fellows compound)), forming the film of the thickness about the number monolayer of metal, such as aluminum, -- the upper and lower sides -- the polarity of a semiconductor surface -- from [negative / conventional / (anion)] -- right (cation) -- conversion and its straight polarity are formed in said epitaxial growth thin film, the polycrystalline thin film of a priority stacking tendency, etc. Here, how to control the polarity of the gallium nitride film grown up into the sapphire (0001) side [nitriding / the side] with LP gas-MOVPE method is shown as an example.

[0027]Drawing 1 shows the structure of the GaN thin film manufactured by the formation method of the semiconductor membrane of this invention. As shown in drawing 1, the substrate with semiconductor membrane manufactured using the formation method of the semiconductor membrane of this invention comprises the following:

Silicon on sapphire 1 which is a substrate.

The aluminum monolayer (two-layer) 2 formed on the silicon on sapphire 1 which is aluminum of a number monolayer.

GaN buffer layer 3 formed on it.

The GaN epitaxial layer 4 which is the semiconductor membrane which grew epitaxially on the substrate furthermore formed on it.

[0028]Nitriding [the silicon on sapphire / in 1100 ** and H₂ atmosphere during 10 minutes, the silicon on sapphire 1 carries out heating washing, and continues, and / it is the temperature and / it carries out the flow of the ammonia gas for 90 seconds 1500 sccm, and / the silicon-on-sapphire 1 surface] first. Then, two-layer formation of the monolayer 2 of aluminum is carried out before formation of GaN buffer layer 3 by putting trimethylaluminum (TMAI) to the flow of 5micromol/min and TMAI for 30 seconds from 2 seconds at 550 ** (although it is required more than two-layer). If two-layer existence is recognized at worst, since the purpose of this invention can be attained, two-layer is the optimal. This is the Key structure of this invention.

[0029]The GaN epitaxial layer 4 of 2.5-micrometer thickness is formed at 550 ** under the gas pressure of 200Torr after it by 3 or 1080 ** of GaN buffer layers of 20-nm thickness.

Trimethylgallium (TMGa), TMAI, and NH₃ are used as source (organometallic compound gas source and material gas) of Ga, aluminum, and N, respectively.

[0030]The surface morphology (surface shape) of the produced GaN thin film was observed using the Normarski interference microscope. Crystallinity evaluated the reflection from the symmetry (002) side and asymmetry (102) side of the GaN epitaxial film 4 omega scan or by carrying out a rocking curve using high resolution 4 crystal X-ray diffractometer (HRXRD, Philips X'pert MRD).

[0031]the crystallinity of the GaN epitaxial film 4 of drawing 2 -- an X diffraction -- it can set (002) -- the fact that the half breadth of a field (102) shows about 300 and 540arcsec, respectively shows that good crystallinity is shown. The Hall mobility and carrier concentration by the Van der Pauw method measurement are 230-cm²/V-s and 3.3x10¹⁷cm⁻³, respectively, and

show the value also with a sufficient electrical property.

[0032]As the characteristic of a GaN thin film of having grown up on silicon on sapphire, carrying out measurement evaluation of the X-ray rocking curve of both this crystal face is generally performed. Here, it is comparing with the value generally reported in a paper etc. (if the half breadth of an X diffraction has a bad crystal, a numerical value will become large, as for the electrical property at that time, mobility becomes small, and carrier concentration becomes large.).

[0033]However, as the surface morphology of the GaN is shown in drawing 2 (a), even if it changes the time of nitriding treatment, it shows the projection of the pyramid shape of a hexagon. As this was mentioned above, the GaN (0001) surface which carried out nitriding treatment, It is because it is difficult to grow up GaN with the smooth surface of Ga polarity (here, gallium (Ga) polarity or straight polarity is meant) in order to show N polarity (here, nitrogen (N) polarity or negative polarity is meant).

[0034]Then, in order to obtain the flat mirror finished surface form GaN thin film (there are the two-layer aluminum monolayer 2 and GaN buffer layer 3 as a ground of a GaN thin film) of Ga polarity, Polarity was converted into the cation side from the anion side by making the monolayer 2 of aluminum insert on the substrate which carried out nitriding treatment.

[0035]Before forming GaN buffer layer 3 on the nitriding silicon on sapphire 1 first, the time to which the flow of the MAI (trimethylaluminum) is carried out was changed with 2, 5, 10, 20, and 30 sec, and was grown up. In advance of this experiment, it is checking that 1 stratification of the monolayer of aluminum is carried out in the amount 2.5 seconds of flows of 5micromol/min by atomic layer epitaxy.

[0036]The Normarski interference microscope photograph by the flow time (drawing 2 (a):0 second, drawing 2 (b):2 second, drawing 2 (c):5 second, drawing 2 (d):30 second) of different TMAI is shown in drawing 2. When a TMAI flow is 2 seconds, the projection of the pyramid shape of the still same hexagon as drawing 2 (a) without a flow is shown (drawing 2 (b)). However, if TMAI flow time exceeds 5 seconds, the surface morphology of GaN will change a lot and will serve as the smooth surface like drawing 2 (c) and drawing 2 (d). It is shown that these results changed the polarity of the GaN thin film by the TMAI flow.

[0037]The polarity of the produced GaN thin film was determined by the CAICISS (coaxial-type direct impact ion scattering spectroscopy) analysis apparatus (Shimadzu Make, TALIS-9700). A polar decision was made based on the simulation result from theory, and reported analytical data.

[0038]The pattern of the polarity change of GaN by TMAI flow time which is different in drawing 3 is shown. That is, the signal strength dependency of Ga to the incidence angle of the helium⁺ ion of 2keV in the [1120] plane directions of a GaN thin film was measured. By taking into consideration the shadowing (shadowing) effect and the convergence effect can explain Ga signal strength dependency over an incidence angle.

[0039]When the atom of the 2nd layer which is directly under an outermost surface atom when explanation is added is seen from the surface, in order that the state of becoming the shade of an outermost surface atom with the angle to see may change (that is, shadowing effect), if the incidence angle of helium ion is changed, the spectral shape of CAICISS will change. Polarity can be judged by comparing this spectrum with an experimental value and a simulation value.

[0040]The angular dependence of Ga signal shows the profile from which the sample which he had no TMAI flow and was processed for TMAI flow 5 seconds differed very much to the silicon on sapphire 1 which carried out nitriding treatment so that it may understand by drawing 3 (a) and drawing 3 (c). That is, the gallium nitride surface of processing has N polarity (anion side) to the silicon on sapphire 1 which carried out nitriding treatment for having-no TMAI flow and TMAI flow 5 seconds, and the film beyond TMAI flow 5 second has Ga polarity (cation side).

[0041]The polarity of N and Ga of drawing 3 (a) and drawing 3 (c) was checked by reported data and a comparative examination with a simulation result. However, the polarity of the sample for TMAI flow 2 seconds (drawing 3 (b)) has not fully changed to Ga polarity. N polarity is most and this sample is considered to be the mixed GaN thin film with the Ga polarity of several percent.

[0042]GaN thin films are 2 or less seconds of a TMAI flow, and 5 seconds or more, and the result of the above drawing 3 shows that the polarity is divided into anion and cation. The model (graphic display of Ga side of the GaN structure constituted by two-layer insertion of the aluminum monolayer 2) of drawing 4 explains this cause mechanism.

[0043]The silicon on sapphire 1 (sapphire) to which nitriding treatment (Nitridation) of drawing 4

was carried out among the GaN thin films of drawing 1. Only the aluminum monolayer 2 (Two monolayers of aluminum) formed on this silicon on sapphire 1 and GaN buffer layer 3 (Initial stage of GaN buffer layer) formed on it are illustrated. Here, the GaN epitaxial layer 4 formed on GaN buffer layer 3 is omitted in drawing 4.

[0044]In early stages of growth of GaN buffer layer 3, having combined N atom with aluminum is known irrespective of the nitriding treatment existence of the silicon-on-sapphire 1 surface. When nitriding treatment of the silicon on sapphire 1 is carried out, three individuals carry out Al-atoms combination, and N atom has one joint hand perpendicularly to the silicon-on-sapphire 1 surface reflecting N side.

[0045]However, if aluminum monolayer of several layers is inserted between a nitriding treatment board and GaN buffer layer 3, it will be thought that the surface of the GaN epitaxial layer 4 changes from N polarity to Ga polarity.

[0046]In one-layer insertion of aluminum monolayer, as shown in drawing 2 (b) and drawing 3 (b), the GaN epitaxial layer 4 does not change from N polarity to Ga polarity. In insertion of aluminum monolayer of one layer, the 1stN atom of the buffer layer 3 combined with three Al atoms has turned to only one joint hand upward.

[0047]However, when the two-layer aluminum monolayer 2 is inserted, the GaN epitaxial layer 4 can change to Ga side, as shown in drawing 2 (c) and drawing 3 (c). Because, when the two-layer aluminum monolayer 2 is inserted, the 1stN atom of the buffer layer 3 is combined with the Al atoms of aluminum monolayer of the 2nd layer, and three joint hands turn to above.

[0048]The polarity change of a GaN thin film in case a TMAl flow is 10 seconds or more must be considered. There is a relation of HCP (0001)/(111) FCC to the hetero epitaxial direction between the maximum dense roppo crystal structure (HCP) and a face-centered-cubic crystal structure (FCC). And a pile order of meeting <111> of FCC is an atomic arrangement order (ABC (ABC (ABC))).

[0049]If two-layer insertion of the aluminum monolayer is carried out, the best Al atoms will have one upward joint hand, and the polarity of a GaN thin film will change. As the above-mentioned example, although the GaN single crystal membrane on the silicon on sapphire 1 was described, also in the case of polycrystal, the same effect starts.

[0050]ZnO and GaN are raised as an example of polycrystal. About ZnO, the following points are mentioned as an effect in the case of performing polar control (a cation plane direction is used and the surface is set to Zn). That is, although c axis has generally turned to the polycrystal membrane produced on amorphous boards, such as glass, by the spatter etc. upwards, it seems that the polarity has gathered in respect of anion. Then, the following effects are expectable by using the technique of this invention.

[0051]1. Since anion sides are stability and inertness very much physicochemically compared with a reverse cation side, they can improve substantially the corrosion resistance as a transparent electrode or a phosphor material. For example, the proof stress over a plasma process increases. Adsorption property, i.e., the stability of the surface within a vacuum, is substantially improvable.

[0052]2. If polarity is controlled, the direction of a piezo electric field is controllable. If the polarity of a crystal is reversed, in order to also reverse the direction of a piezo electric field, in a surface acoustic element, in addition to above-mentioned 1., the phase control of a surface acoustic wave becomes possible, and signal processing using a surface acoustic wave of it becomes possible.

[0053]3. As an electron source, it is the same as that of above-mentioned 1.

[0054]4. The quality of a crystal is substantially improved as being common to all, since the cation surface is in the tendency in which surface migration of the adatom in the surface takes place easily reflecting the chemical stability, and a thin film surface tends to carry out flattening.

[0055]If pn controlling becomes possible also for polycrystal in GaN, light emitting device production of a planar display or low cost is expectable. There is application as the field emission electron source and fluorescent substance which expect NEA (negative electron affinity), and when polar control can be performed, the same effect as the above-mentioned ZnO can be expected. It has influence on a luminescent characteristic according to the quantum Stark effect by a piezo electric field, and even if it is not a laser device, it lets the directional control of a piezo electric field pass, and various effects can be applied and controlled by the light emitting device (especially semiconductor laser element) of a nitride system by this art.

[0056]

[Effect of the Invention]As mentioned above, by forming aluminum monolayer film in the inside of

3-5 fellows who grew epitaxially on the insulating substrate, or 2-6 fellows semiconductor membrane by this invention, as explained in full detail by the upper and lower sides. the polarity of a semiconductor surface -- from [negative / conventional / (anion)] -- right (cation) -- it can convert and the electric and optical characteristic can be raised by forming said epitaxial growth thin film surface as a straight polarity film.

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-270525

(P2002-270525A)

(43)公開日 平成14年9月20日(2002.9.20)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード(参考)
H 01 L 21/205		H 01 L 21/205	4 G 0 7 7
C 30 B 29/16		C 30 B 29/16	4 M 1 0 4
29/38		29/38	D 5 F 0 4 1
H 01 L 21/28		H 01 L 21/28	A 5 F 0 4 5
33/00		33/00	C

審査請求 未請求 請求項の数13 OL (全7頁)

(21)出願番号 特願2001-71746(P2001-71746)

(22)出願日 平成13年3月14日(2001.3.14)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成12年9月24日～
9月27日 The Japan Society of Applied Physics主催の「International Workshop on Nitride Semiconductors - IWN2000-」において文書をもって発表

(71)出願人 592212892

吉川 明彦

千葉県千葉市花見川区畠町3103-195

(71)出願人 000201814

双葉電子工業株式会社

千葉県茂原市大芝629

(72)発明者 吉川 明彦

千葉県千葉市花見川区畠町3103-195

(72)発明者 伊藤 茂生

千葉県茂原市大芝629 双葉電子工業株式会社内

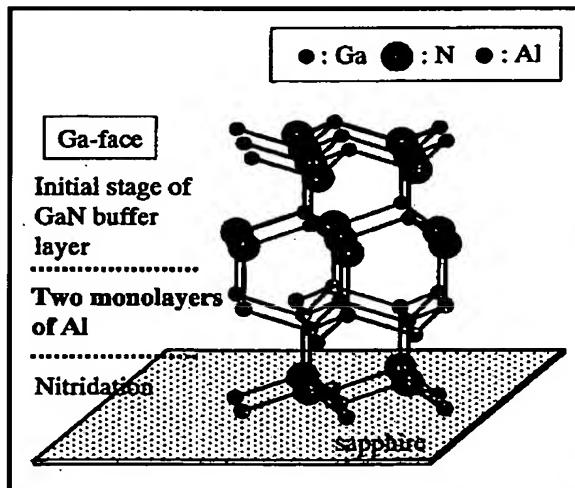
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体薄膜の形成方法およびその方法を用いて製造された半導体薄膜付き基板およびその半導体薄膜付き基板を用いた半導体デバイス。

(57)【要約】

【課題】本発明は、GaNやZnOなどの3-5族または2-6族半導体表面の極性を従来のanion表面から、よりスムースで不活性なcation表面に転換させることにより、その表面が電気的、光学的特性に大きな影響を与えるデバイスの特性向上を図る方法を提供する。

【解決手段】サファイア基板上にエピタキシャル成長した3-5族または2-6族半導体膜の内部に、Alなどの金属の数monolayers程度の厚さの膜を形成することにより、その上下で、半導体表面の極性を従来の負(anion)から正(cation)に転換、その正極性を前記エピタキシャル成長薄膜や優先配向性の多結晶薄膜などに形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上にエピタキシャル成長した半導体薄膜を形成するにあたり、少なくとも該半導体薄膜の一部に数モノレイヤーのA1を含み、前記半導体薄膜の一部が単結晶または前記基板に対して優先配向した多結晶の構造をもつことを特徴とする半導体薄膜の形成方法。

【請求項2】基板上にエピタキシャル成長した半導体薄膜を形成するにあたり、少なくとも該半導体薄膜の一部にA1と同様に面心立方結晶構造を有する金属元素を数モノレイヤー含み、前記半導体薄膜の一部が単結晶または前記基板に対して優先配向した多結晶の構造をもつことを特徴とする半導体薄膜の形成方法。

【請求項3】前記半導体薄膜が、B, A1, Ga, Inなどの3族元素の窒化物(3族窒化物)またはZn, Cd, Mgなどの2族元素とO, S, Seなどの6族元素との化合物(2-6族化合物)から構成されていることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項4】前記半導体薄膜が、前記金属元素の数モノレイヤー又は前記A1の数モノレイヤーを内部に含んでおり、前記金属元素の数モノレイヤー又は前記A1の数モノレイヤーの上下で、その半導体薄膜表面の極性が負(anion)から正(cation)に変化し、その正極性が前記エピタキシャル成長薄膜表面まで維持されていることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項5】前記基板をサファイア基板で構成し、該サファイア基板のエピタキシャル成長面をC面とし、このC面の垂直方向に、前記半導体薄膜をエピタキシャル成長させることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項6】前記基板の前記エピタキシャル成長面を、成長前に1100°Cで、H₂雰囲気にさらした後、アンモニアガスを表面にフローさせることにより、前記基板表面をN化し、N終端させたことを特徴とする請求項5記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項7】前記半導体薄膜が、GaまたはZnをその構成元素として含むことを特徴とする請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項8】前記半導体薄膜が、GaNまたはZnOであることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項9】前記半導体薄膜が、GaNまたはZnOをベースとした多元混晶化合物であることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項10】前記半導体薄膜が、GaNまたはZnOのように、その結晶構造が六方晶系であるなど、極性を有する化合物であることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項11】前記半導体薄膜が、2モノレイヤーのA

1または2モノレイヤーの金属元素を含むことを特徴とする請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法。

【請求項12】請求項1乃至11の何れか一項記載の方法を用いて製造された半導体薄膜付き基板。

【請求項13】請求項12記載の半導体薄膜付き基板を用いることを特徴とする半導体デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板上に、半導体薄膜を形成する方法およびこの方法により製造した半導体薄膜を有する基板およびその半導体薄膜を有する基板を用いた半導体デバイスに関するものである。

【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム(GaN)は、青色半導体発光デバイスや青色半導体レーザーのベース材料として、広く研究されている。

【0003】しかし、GaNは発光に供せられるような単結晶ウエハーを製造することができないため、一般には基板材料としてサファイアが用いられている。

【0004】通常はこのサファイア基板上にGaNのバッファ層を形成し、その上にGaNの層が形成されている。そしてこのGaN層の電気的、光学的特性は、サファイア基板上での初期成長条件に強く影響されることがわかっており、またバッファ層を形成する前に、サファイア基板の表面を窒化処理することにより、非優先方位成長核の除去を行い、結晶性の良い薄いGaNバッファ層の形成促すことが知られている。

【0005】また、エピタキシャル成長したGaNの成長面は、通常Ga元素が最表面に位置するGa極性(cation)面の場合、非常にスムースな面を形成し、N元素が最表面に位置するN極性(anion)面の場合、6角形のピラミッド形状の突起が多数形成された表面モフォロジー(表面形態)を示すことが知られている。

【0006】通常サファイア基板上にMOVPE法などでGaN膜をエピタキシャル成長させた場合、サファイア面を窒化させない場合は、成長GaNの表面はスムーズであるが、GaN膜の結晶性を改善するためにサファイア基板を窒化させた場合、成長GaNの表面はN極性のため、N終端され、六角形のファセットを持つanion表面となる。

【0007】さらに、GaNや酸化亜鉛(ZnO)、硫化カドミウム(CdS)などのように極性を有する物質をスパッタリングや真空蒸着などで非結晶性基板上に堆積すると、多結晶であってもその結晶の極性軸(この場合はC軸)を基板表面に垂直にそろえることが可能であるが、多くの場合にanionが表面にくる-極性の薄膜となり、耐食性や表面安定性がcationが表面にくる+極性の場合に比べてきわめて不十分である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来の製造法で結晶性を改善するために窒化したサファイア基板上に作製したGaN膜の表面は、*a n i o n*表面であり、その表面は多数のファセットが形成された凹凸の激しい表面となる。

【0009】このため、この表面にさらに、他のエピタキシャル膜を形成したり、電極配線を形成することを大変困難にさせる。たとえばナノ量子ドットや、微細な多層配線を利用した電子デバイス、光学デバイスを作製する場合、その表面状態は大きな障害となる。

【0010】また、エピタキシャル半導体膜が、透光性電極や発光素子、レーザー用半導体として応用されようとしているZnOの場合には、その透光性電極表面の耐食性、表面での反射・屈折特性などが、その電子デバイス、発光デバイスの特性を大きく損なわしめる。

【0011】また、多結晶のGaNやZnOなどの場合であっても、透明電極や蛍光体などとして使われる際に、その表面が一極性で*a n i o n*面となると、上記の単結晶の場合と同様に、プラズマプロセスなどへの耐食性や、真空デバイスでの表面安定性の特性を大きく損なわしめる。

【0012】本発明は、前述のGaNやZnOなどの3-5族または2-6族半導体表面の極性を従来の*a n i o n*表面から、よりスムースで不活性な*c a t i o n*表面に転換させることにより、その表面が電気的、光学的特性に大きな影響を与えるデバイスの特性向上を図る方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載された半導体薄膜の形成方法は、基板上にエピタキシャル成長した半導体薄膜を形成するにあたり、少なくとも該半導体薄膜の一部に数モノレイヤーのA1を含み、前記半導体薄膜の一部が単結晶または前記基板に対して優先配向した多結晶の構造をもつことを特徴としている。

【0014】請求項2に記載された半導体薄層の形成方法は、基板上にエピタキシャル成長した半導体薄膜を形成するにあたり、少なくとも該半導体薄膜の一部にA1と同様に面心立方結晶構造を有する金属元素を数モノレイヤー含み、前記半導体薄膜の一部が単結晶または前記基板に対して優先配向した多結晶の構造をもつことを特徴としている。

【0015】請求項3に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法において、前記半導体薄膜が、B, A1, Ga, Inなどの3族元素の窒化物(3族窒化物)またはZn, Cd, Mgなどの2族元素とO, S, Seなどの6族元素との化合物(2-6族化合物)から構成されていることを特徴としている。

【0016】請求項4に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法にお

いて、前記半導体薄膜が、前記金属元素の数モノレイヤー又は前記A1の数モノレイヤーを内部に含んでおり、前記金属元素の数モノレイヤー又は前記A1の数モノレイヤーの上下で、その半導体薄膜表面の極性が負(*a n i o n*)から正(*c a t i o n*)に変化し、その正極性が前記エピタキシャル成長薄膜表面まで維持されていることを特徴としている。

【0017】請求項5に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法において、前記基板をサファイア基板で構成し、該サファイア基板のエピタキシャル成長面をC面とし、このC面の垂直方向に、前記半導体薄膜をエピタキシャル成長させることを特徴としている。

【0018】請求項6に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項5記載の半導体薄膜の形成方法において、前記基板の前記エピタキシャル成長面を、成長前に1100°Cで、H₂雰囲気にさらした後、アンモニアガスを表面にフローさせることにより、前記基板表面をN化し、N終端させたことを特徴としている。

【0019】請求項7に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法において、前記半導体薄膜が、GaNまたはZnをその構成元素として含むことを特徴としている。

【0020】請求項8に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法において、前記半導体薄膜が、GaNまたはZnであることを特徴としている。

【0021】請求項9に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法において、前記半導体薄膜が、GaNまたはZnをベースとした多元混晶化合物であることを特徴としている。

【0022】請求項10に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法において、前記半導体薄膜が、GaNまたはZnのように、その結晶構造が六方晶系であるなど、極性を有する化合物であることを特徴としている。

【0023】請求項11に記載された半導体薄膜の形成方法は、請求項1又は2記載の半導体薄膜の形成方法において、前記半導体薄膜が、2モノレイヤーのA1または2モノレイヤーの金属元素を含むことを特徴としている。

【0024】請求項12に記載された半導体薄膜付き基板は、請求項1乃至11の何れか一項記載の方法を用いて製造されたことを特徴としている。

【0025】請求項13に記載された半導体デバイスは、請求項1記載の半導体薄膜付き基板を用いることを特徴としている。ここで、半導体デバイスとは、例えば、EL(エレクトロルミネセンス素子)、VFD(蛍光表示管)、FED(電界放出型表示装置)などの蛍光体を用いた表示デバイス、新規の多結晶構造大型平面発

光表示デバイス、透明電極を用いたデバイスなどを意味している。

【0026】

【発明の実施の形態】本発明は、絶縁性基板（絶縁性の単結晶基板等を含む）上にエピタキシャル成長した3-5族または2-6族半導体薄膜（B, Al, Ga, Inなどの3族元素の窒化物（3族窒化物）又はZn, Cd, Mgなどの2族元素とO, S, Seなどの6族元素との化合物（2-6族化合物））の内部に、Alなどの金属の数モノレイヤー程度の厚さの膜を形成することにより、その上下で、半導体表面の極性を従来の負（anion）から正（cation）に転換、その正極性を前記エピタキシャル成長薄膜や優先配向性の多結晶薄膜などに形成することを特徴とする。ここでは、窒化したサファイア（0001）面に、LP-MOVPE法により成長させた窒化ガリウム膜の極性を制御する方法を例として示す。

【0027】図1は、本発明の半導体薄膜の形成方法により製造されたGaN薄膜の構造を示す。図1に示すように、本発明の半導体薄膜の形成方法を使用して製造された半導体薄膜付き基板は、基板であるサファイア基板1と、数モノレイヤーのAlであるサファイア基板1上に形成されたAlモノレイヤー（2層）2と、その上に形成されたGaNバッファ層3と、さらにその上に形成された基板上にエピタキシャル成長した半導体薄膜であるGaNエピタキシャル層4から構成される。

【0028】サファイア基板1は、まず、1100°C、10分間H₂雰囲気中で加熱洗浄し、続いて同温度で、アンモニアガスを1500sccm、90秒フローさせて、サファイア基板1表面の窒化を行う。そこで、GaNバッファ層3の形成前に、トリメチルアルミニウム（TMA1）を550°Cで、2秒から30秒、5μmol/min、TMA1のフローに曝す事により、Alのモノレイヤー2を2層形成する（2層以上必要があるが、最低限2層存在すれば本発明の目的を達成可能なため、2層が最適である）。これが、本発明のKey構造である。

【0029】その後、200Torrのガス圧力下、550°Cで20nm厚のGaNバッファ層3、1080°Cで2.5μm厚のGaNエピタキシャル層4を形成する。トリメチルガリウム（TMGa）、TMA1、NH₃が、それぞれGa、Al、Nのソース（有機金属化合物ガスソース及び原料ガス）として用いられる。

【0030】作製されたGaN薄膜の表面モフォロジー（表面形態）はNormarski干渉顕微鏡を用いて観察した。また結晶性は、高解像度4結晶X線回折装置（HRXRD, Philips X'pert MRD）を用いて、GaNエピタキシャル膜4の対称（002）面と非対称（102）面からの反射をωスキャン、またはロッキングカーブすることによって評価した。

【0031】図2のGaNエピタキシャル膜4の結晶性は、X線回折における（002）と（102）面の半値幅がそれぞれ約300と540arcsecを示すことから、良い結晶性を示していることがわかる。またVan der Pauw法測定によるホール移動度とキャリア濃度は、それぞれ230cm²/V·sと3.3×10¹⁷cm⁻³であり、電気特性も良い値を示している。

【0032】尚、サファイア基板上に成長したGaN薄膜の特性としては、この両結晶面のX線ロッキングカーブを測定評価することが一般的に行われる。ここでは、一般的に論文などで報告される値と比較（X線回折の半値幅は、結晶が悪いと数値が大きくなり、そのときの電気的特性は、移動度は小さくなり、キャリア濃度は大きくなる。）している。

【0033】しかし、そのGaNの表面モフォロジーは図2(a)に示すように、窒化処理の時間を変えても、6角形のピラミッド形状の突起を示す。これは、前述したように、窒化処理したGaN(0001)表面は、N極性（ここでは、窒素（N）極性または負極性を意味している）を示すため、スムースな表面を持つGaN極性（ここでは、ガリウム（Ga）極性または正極性を意味している）のGaNを成長させることが困難であるためである。

【0034】そこで、鏡面状のフラットなGaN極性のGaN薄膜（GaN薄膜の下地として、2層のAlモノレイヤー2およびGaNバッファ層3がある）を得るために、Alのモノレイヤー2を、窒化処理した基板の上に挿入させることにより、極性をanion面から、cation面に転換させた。

【0035】まず窒化サファイア基板1の上にGaNバッファ層3を形成する前にTMA1（トリメチルアルミニウム）をフローさせる時間を2, 5, 10, 20および30secと変化させて成長させた。この実験に先立ち、原子層エピタキシー法により、5μmol/minのフロー量2.5秒で、Alのモノレイヤーが1層形成されることを確認している。

【0036】図2には、異なったTMA1のフロー時間（図2(a)：0秒、図2(b)：2秒、図2(c)：5秒、図2(d)：30秒）によるNormarski干涉顕微鏡写真を示す。TMA1フローが2秒の場合は、まだフローなしの図2(a)と同様な6角形のピラミッド形状の突起を示す（図2(b)）。しかし、TMA1フロー時間が5秒を越えると、GaNの表面モフォロジーは大きく変化し、図2(c)や図2(d)のようにスムースな表面となる。これらの結果はGaN薄膜の極性がTMA1フローによって変わったことを示している。

【0037】また作製したGaN薄膜の極性はCAICISS（同軸型直衝突イオン散乱スペクトロスコピー）

分析装置（（株）島津製作所製、T A L I S - 9700）によって決定された。極性の決定は、理論からのシミュレーション結果、および既報告の解析データを基にして行った。

【0038】図3に異なったTMA1フローによるGaNの極性変化の模様を示す。すなわち、GaN薄膜の[1120]面方位での2keVのHe⁺イオンの入射角に対するGaの信号強度依存性を測定した。入射角に対するGa信号強度依存性は、shadowing（シャドーイング）効果や集束効果を考慮することにより、説明できる。

【0039】更に説明を加えると、最表面原子の直下にある第2層目の原子は、表面から見たときに、見る角度によって最表面原子の陰になる状態が変化するために（つまり、シャドーイング効果）、Heイオンの入射角を変えるとCAICISSのスペクトル形状が変化する。このスペクトルを、実験値とシミュレーション値で比較することにより、極性を判定できる。

【0040】図3(a)および図3(c)でわかるように、Ga信号の角度依存性は窒化処理したサファイア基板1へTMA1フロー無しおよびTMA1フロー5秒処理した試料とは大変異なったプロファイルを示す。すなわち、窒化処理したサファイア基板1へTMA1フロー無しおよびTMA1フロー5秒処理の窒化ガリウム表面はN極性(anion面)をもち、TMA1フロー5秒以上の膜はGa極性(cation面)を持つ。

【0041】また図3(a)、図3(c)のNとGaの極性は、既報告のデータ、およびシミュレーション結果との比較検討により確認された。しかし、TMA1フロー2秒の試料(図3(b))の極性は十分には、Ga極性に変わっていない。このサンプルは、N極性が大部分で、数%のGa極性との混合したGaN薄膜と考えられる。

【0042】以上の図3の結果から、GaN薄膜は、TMA1フローの2秒以下と5秒以上で、その極性がanionとcationに分かれることがわかる。この原因機構を図4のモデル(2層のA1モノレイヤー2の挿入によって構成されるGaN構造のGa面の図形表示)で説明する。

【0043】図4は、図1のGaN薄膜の内、窒化処理(Nitridation)されたサファイア基板1(sapphire)と、該サファイア基板1上に形成されたA1モノレイヤー2(Two monolayers of A1)と、その上に形成されたGaNバッファ層3(Initial stage of GaN buffer layer)のみを図示している。ここで、GaNバッファ層3の上に形成されたGaNエピタキシャル層4は、図4中では省略してある。

【0044】GaNバッファ層3の成長初期では、サファイア基板1表面の窒化処理有り無しにかかわらず、N

原子はA1と結合していることが知られている。サファイア基板1が窒化処理されたとき、N原子は3個のA1原子結合し、N面を反映して、サファイア基板1表面に対して垂直方向に1本の結合手を持っている。

【0045】しかし、数層のA1モノレイヤーが窒化処理基板とGaNバッファ層3の間に挿入されると、GaNエピタキシャル層4の表面は、N極性からGa極性に変化するものと考えられる。

【0046】A1モノレイヤーを1層挿入の場合には、図2(b)や図3(b)に示すように、GaNエピタキシャル層4は、N極性からGa極性へは変わらない。1層のA1モノレイヤーの挿入の場合、3個のA1原子と結合したバッファ層3の第1N原子は、1本の結合手のみ上方に向いている。

【0047】しかし、2層のA1モノレイヤー2を挿入した場合、GaNエピタキシャル層4は、図2(c)および図3(c)に示すように、Ga面に変わることができる。なぜなら、2層のA1モノレイヤー2を挿入した場合、バッファ層3の第1N原子は第2層のA1モノレイヤーのA1原子と結合し、3本の結合手が上方に向く。

【0048】TMA1フローが10秒以上の場合のGaN薄膜の極性変化を考えなければならない。最密六方結晶構造(HCP)と面心立方結晶構造(FCC)との間のヘテロエピタキシャル方位には、(0001)HCP//(111)FCCの関係がある。そして FCCの<111>に沿っての積み重ね順序は、原子配列順序が、(ABC)(ABC)(ABC)である。

【0049】A1モノレイヤーが2層挿入されると、最上のA1原子は上向きの1つの結合手をもち、GaN薄膜の極性は変化する。前述の例としては、サファイア基板1上でGaN単結晶膜について述べたが、同様の効果は多結晶の場合にもおこる。

【0050】多結晶の例としては、ZnOとGaNがあげられる。ZnOについては極性制御(cation面方向にして、表面をZnにする)を行う場合の効果としては、以下の点が挙げられる。すなわち一般に、スパッター等でガラスなどの非結晶性基板上に作製した多結晶膜はc軸が上に向いているが、その極性はanion面で揃っていると思われる。そこで、本発明の手法を用いることにより、以下の効果が期待できる。

【0051】1.anion面は、逆のcation面に比べて、物理的・化学的に極めて安定・不活性であるため、透明電極や蛍光体材料としての耐食性を大幅に改善できる。例えば、プラズマプロセスに対する耐力が増す。また、吸着特性、すなわち真空中での表面の安定性を大幅に改善できる。

【0052】2. 極性を制御すると、ピエゾ電界の方向を制御できる。結晶の極性が反転すると、ピエゾ電界の方向も反転するため、弹性表面波素子では、上記の1.

以外に、弾性表面波の位相制御が可能になり、弾性表面波を使った信号プロセシングが可能となる。

【0053】3. 電子源としては、上記の1. と同様である。

【0054】4. c a t i o n 表面は、その化学的安定性を反映して、表面での吸着原子の表面泳動が起こりやすく、薄膜表面が平坦化しやすい傾向にあるため、全てに共通として、結晶の品質が大幅に改善される。

【0055】GaNの場合、多結晶でも p n 制御が可能となれば、平面ディスプレイや低コストの発光素子作製が期待できる。又、NEA（負電子親和力）を期待しての電界放出電子源や蛍光体としての応用があり、極性制御ができる事により、前述のZnOと同じ効果が期待できる。さらに、窒化物系の発光素子（特に半導体レーザ素子）では、ピエゾ電界による量子シェタルク効果により発光特性に影響があり、レーザ素子でなくてもピエゾ電界の方向制御を通して様々な効果を、この技術により応用・制御できる。

【0056】

【発明の効果】以上、詳述したように、本発明により、絶縁性基板上にエピタキシャル成長した3-5族または2-6族半導体膜の内部に、Alモノレイヤー膜を形成することにより、その上下で、半導体表面の極性を従来

の負 (a n i o n) から正 (c a t i o n) に転換し、前記エピタキシャル成長薄膜表面を正極性膜として形成することにより、電気的、光学的特性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の形成方法により製造されたGaN薄膜の構造を示す図である。

【図2】異なるTMA1フロー時間のGaN薄膜について、GaN薄膜の表面モフォロジーの違いを示す図である。

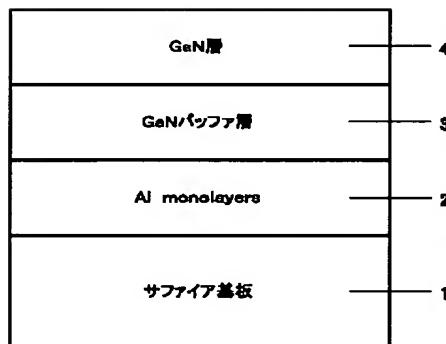
【図3】異なるTMA1フロー時間のGaN薄膜について、GaN薄膜の[1120]面方位での2keVのHe⁺イオンの入射角に対するGaの信号強度依存性を測定した結果(CAICISS分析結果)を示す図である。

【図4】2層のAlモノレイヤー挿入によって構成されるGaN構造のGa面の模式図である。

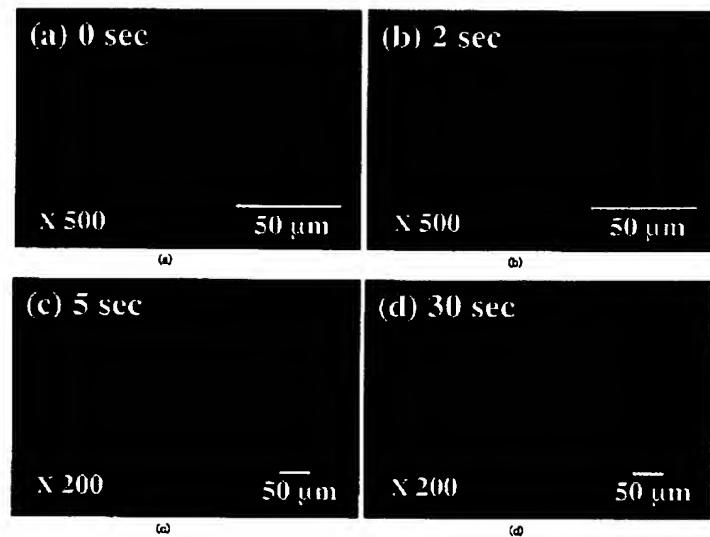
【符号の説明】

- 1…サファイア基板、
- 2…Alモノレイヤー(2層)、
- 3…GaNバッファ層、
- 4…GaNエピタキシャル層。

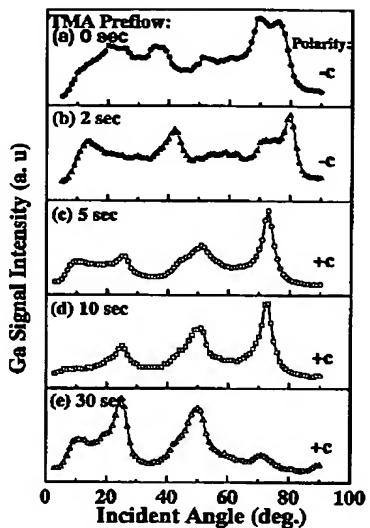
【図1】



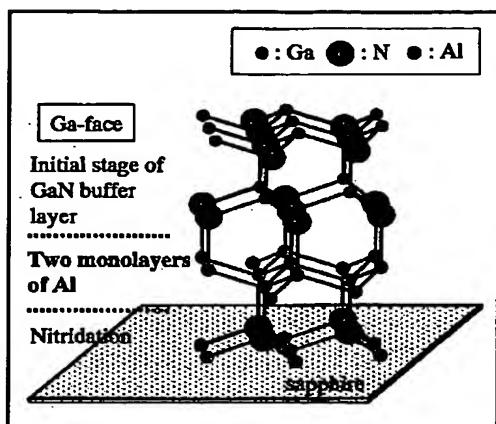
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4G077 AA03 AA07 AB02 BB07 BE15
DB08 ED05 ED06 EF01 EF03
4M104 AA04 AA06 CC01 DD22
5F041 AA40 CA40 CA41 CA46
5F045 AA04 AA15 AB14 AB22 AB40
AC08 AC12 AD09 AD14 AE25
AF09 AF13 BB16 DA53 DA61
EB15 HA01